Aus dem Medizinischen Strahleninstitut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. W. Frommhold

Das normale Lungenperfusionsszintigramm in Abhängigkeit von verschiedenen physiologischen Bedingungen und Alter

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Klaus-Peter Braun
aus Kolmar

1969

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547611_0007

Aus dem Medizinischen Strahleninstitut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. W. Frommhold

Das normale Lungenperfusionsszintigramm in Abhängigkeit von verschiedenen physiologischen Bedingungen und Alter

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Klaus-Peter Braun
aus Kolmar

1969

Dekan: Professor Dr. J. Hirschmann

1. Berichterstatter: Professor Dr. U. Feine
2. Berichterstatter: Professor Dr. W. Frommhold

FOTODRUCK PRÄZIS Barbara v. Spangenberg KG • Tübingen

Inhaltsverzeichnis

Grundlagen Seite

I. Einleitung....2
1. Lungeninhalationsszintigraphie....2
2. Lungenperfusionsszintigraphie....3
II. Physiologische Grundlagen der Lungenfunktion...4
1. Perfusion....4
2. Diffussion....5
3. Ventilation....7
4. Verteilung von Ventilation und Perfusion....9
III. Physiologische und szintigraphische Grundlagen der Lungenperfusionsszintigraphie....11
1. Fixierung und Speicherung....11
2. Das normale Lungenperfusionsszintigramm....11
3. Zerfall und Abbau der Jod-131 etikettierten Eiweißmakroaggregate....13
4. Nebenwirkungen und radioaktive Toxizität der Jod-131-Humanalbuminmakroaggregate....14
5. Zu Fixationsausfällen führende Mechanismen....16
6. Indikationen für das Lungenperfusionsszintigramm....16
IV. Technik der Lungenperfusionsszintigraphie....18

Eigene klinische Untersuchungen und Ergebnisse

I. Durchführung eines Lungenperfusionsszintigramms21
II. Die Versuchspersonen....25
III. Ergebnisse....26
1. Bei Injektion im Liegen und ventraler Projektion....27
2. Bei Injektion im Liegen und dorsaler Projektion....30
3. Bei Injektion im Stehen und ventraler Projektion....32
4. Bei Injektion im Stehen und dorsaler Projektion....35

Auswertung der Ergebnisse und Altersabhängigkeit

I. Zusammenfassung der Ergebnisse.....37
II. Altersabhängigkeit.....39

Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse 42

Literaturverzeichnis.....46

Die ersten Experimente, die zur Lungenperfusionsszintigraphie führten, wurden 1947 von Müller und Rossier unternommen. Sie entwickelten ein Verfahren zur Adsorbtion von Radiogold (Au-198) an Holzkohlepartikeln, die normiert als Suspension in die Arteria pulmonalis eingebracht wurden und als strahlende Mikroembolien in den Lungenkapillaren hängen blieben. Ernst und Mit., Pochin und Mit. experimentierten an der Größennormierung der Holzkohlepartikel, die Methode wurde jedoch fallengelassen, da es nicht gelang, die Holzkohlepartikel zu normieren, und weil das Gold (Au-198) im Körper resorbiert wurde. Gibel und Mitarbeiter experimentierten mit Hg-203 beladenen Keramikteilchen (sog. Mikrosphären). Altenbrunn prüfte 1963 Stärkekörner als Träger von Jod-131 auf ihre Verwendungsmöglichkeit in der Lungenperfusionsszintigraphie.

Klinische Untersuchungen der Lunge in größerer Zahl mit Hilfe der Lungenperfusionsszintigraphie sind erst seit 1964 möglich, nachdem Taplin das Verfahren glückte, Jod-131-markierte Eiweiß-Makroaggregate einheitlicher Größe und ausreichender Stabilität herzustellen. Taplin bediente sich dabei eines bereits 1956 von Halperns beschriebenen Verfahrens.

Es gibt zwei Methoden, die Lungen szintigraphisch darzustellen, die Lungenperfusionsszintigraphie und die Lungeninhalationsszintigraphie.

Die Lungeninhalationsszintigraphie beruht auf der Einatmung eines Radioaerosols (Taplin und Pol), das sind radioaktive Teilchen, die in der Einatmungsluft zerstäubt werden und sich in der Mundhöhle, Pharynx, den Alveolen und im Abdomen niederschlagen. Nach Taplin sind Albuminpartikel etikettiert mit Tc 99m z. Zt. das beste Aerosolgemisch. Es hat eine HWZ von 2-6 Stunden in einer physiologischen Lunge. Außer Tc 99m wurden noch Jod-131, Jod-125 und Au 198 zur Markierung benützt.

Das Lungeninhalationsszintigramm ist nicht direkt proportional der Belüftung der Alveolen, da sich das Aerosol nach gewissen physikalischen Gesetzen ablagert, die jedoch noch eindeutig formuliert werden müssen. Der Sinn dieser Lungeninhalationsszintigraphie besteht darin, okkulte Belüftungsstörungen der Lungen als Ausfälle im Lungeninhalationsszintigramm sichtbar zu machen. Diese Methode wird zur Zeit noch wenig angewandt, da die Lungenperfusionsszintigraphie wesentlich einfacher und rascher durchführbar ist und für den Patienten keine Belastung bedeutet.

Die Lungenperfusionsszintigraphie:

Im Unterschied zur Lungeninhalationsszintigraphie werden hier die mit Radionukliden etikettierten Teilchen, die einen mittleren Durchmesser von 20 Mikron haben intravenös injiziert. Man nimmt dazu meistens hitzedenaturiertes, makroaggregiertes Humanalbumin, welches mit Jod-131 markiert ist. Außerdem werden noch Technetium-99m (HWZ 1,7 Stunden) und Indium-113 (HWZ 1,7 Stunden) zum Markieren verwandt. Diese Nuklide haben den Vorteil, daß sie wegen ihrer kurzen HWZ in hohen Aktivitäten gegeben werden können, und das Lungenperfusionsszintigramm in wenigen Stunden wiederholt werden kann. Die Partikel werden bei der Passage des rechten Herzens intensiv mit dem venösen Blut vermischt und werden als "Gamma-strahlende Mikroembolie" (Oeser) in den Lungenkapillaren fixiert. Das Szintigramm kann sofort post injektionem angefertigt werden. Die Verteilung der Partikel die in den Lungenkapillaren haften, wird mit Hilfe der Lungenperfusionsszintigraphie dargestellt (Oeser, Ernst). Zur Technik der Szintigraphie wird in einem folgenden Kapitel näher eingegangen. Das Lungenperfusionsszintigramm chrakterisiert, die räumliche Verteilung der strahlenden Substanz, folglich ist das Lungenperfusionsszintigramm ein Intensitäts-proportionales Flächenbild. Damit liefert diese szintigraphische Methode ein Bild des durchblutenden Lungengewebes und gibt

Aufschlüsse über Verdrängungen und über die reginale Durchblutung. (Taplin, Quinn, Oeser, Ernst, Feine)

Da schon bei Injektion der Partikel im Stehen oder Liegen das Lungenperfusionsszintigramm von physiologisch gesunden Lungen beträchtliche Änderungen in der Intensitätsverteilung und damit der Durchblutung zeigt, war es notwendig, diese physiologischen Veränderungen quantitativ zu bestimmen. Mit einem speziell konstruierten Zählwerk wurden die Impulsintegrale der rechten und linken Lunge getrennt, sowie in Ober- und Unterfeld bestimmt, um sichere Ausgangswerte für das pathologische Lungenszintigramm zu erhalten.

Zum Verständnis der Lungenperfusionsszintigraphie muß auf die physiologischen Grundlagen der Lungenfunktion, (Perfusion, Ventilation und Diffussion) eingegangen werden. Die Lungenfunktion selbst ist eine Resultante aus der Lungenventilation, den Diffussionsprozessen in den Alveolen und der Lungendurchblutung.

Die Lungenperfusion:

Die Lungenstrombahn liegt im Hauptschluß zwischen rechtem und linkem Herzen. Die Lungengefäße zeichnen sich durch ihre Weite und Dehnbarkeit aus. Der Lungenkreislauf mit dem venösen Anteil des großen Kreislaufs gehört zum Niederdruck oder Kapazitätssystem, der mittlere Druck beträgt im Lungenkreislauf weniger als 20 mm Hg unter physiologischen Bedingungen. Der mittlere Lungenblutdurchfluß beträgt 51 l/ min. Die Kapillaren einer physiologisch gesunden Lunge des Menschen werden auf 300 Milliarden geschätzt. Nach Neill, Rankin und Forster beträgt die in den Lungenkapillaren sich befindende Kapillarblutmenge beim Gesunden in Ruhe 97 ml. Unter der Vorstellung, diese Blutmenge sei in Kapillaren mit einer Weite von 10 Mikron oder von 20 Mikron enthalten, berechnete Meessen eine Kapillarbettoberfläche von 39 bzw. 24 m^2. Die Kontaktzeit oder Kapillarzeit der Erythrozyten und des

Blutes mit der Alveolarluft ist die sogenannte Diffussionszeit, sie beträgt ungefähr 0,6 sec. und ist identisch mit der mittleren Durchflußzeit der Erythrozyten durch die Lungenkapillaren.

Die Diffusion:

Der Transport des Sauerstoffs aus der Alveolarluft in das Lungenkapillarblut und umgekehrt die Beförderung des CO_2 in die Alveolen erfolgt rein passiv durch Diffusion. Voraussetzung für optimale Diffussionsverhältnisse ist ein bestimmtes O_2 Druckgefälle zwischen der Alveolarluft und dem venösen Lungenkapillarblut, bzw. für das CO_2 zwischen Blut und Alveolarluft. Für das CO_2 beträgt das Druckgefälle normalerweise 5 - 6 mm Hg, für O_2 50 - 60 mm Hg. Ein vollständiger Druckausgleich (weniger als 0,1 mm Hg) ist am Ende einer Lungenkapillare erreicht, d.h., der alveoläre O_2 Druck ist eine für die Arterialisierung des Blutes entscheidende Größe.

Auf seinem Weg von der Alveole bis zu dem Eisen des Hämoglobins muß das einzelne Sauerstoffmolekül, Alveolarepithel, Basalmembran, Kapillarendothel, Plasma, Erythrozytenmembran und einen Teil des Erythrozyteninneren passieren; ehe es dann durch eine chemische Reaktion an das Eisen gebunden wird. Alveolarepithel, Basalmembran und Kapillarendothel sind für die Diffussionsgröße weitgehend entscheidend, und werden unter dem Begriff Membranfaktor (Comroe und Mitarbeiter) zusammengefaßt, da sich hier, die zu Diffussionsstörungen führenden Krankheitsprozesse üblicherweise abspielen.

Durch die Arbeiten von Bohr und A. und M. Krogh

wurde die Diffussion des Sauerstoffs in der Lunge zum ersten Mal quantitativ erfaßt. Bohr definierte als Diffussionskonstante, heute als Duffussionskapazität (DFO_2) bezeichnet das Verhältnis der pro Minute aufgenommenen Sauerstoffmenge (VO_2) zur mittleren Sauerstoffdruckdifferenz zwischen Alveolarluft und Lungenkapillarblut (PO_2). Die Diffussionskapazität ist dabei umso größer, je größer die Diffussionsfläche (F) und je kleiner der Diffusionsweg (d) ist:

$$\frac{ml}{min.Torr} = \frac{VO_2}{\Delta PO_2} = DFO_2 = k\,\frac{F}{D}$$

Die Diffussionskapazität ist ein gewisses Maß für die Kapillarisierung der Lungen. Der Durchmesser, der von den Gasen zu diffundierenden Alveolar- Kapillarmembran beträgt 0,15 - 0,5 Mikron; wobei 0,07 Mikron auf das Alveolarepithel und 0,1 - 0,2 Mikron auf die Basalmembran und der Rest auf das Kapillarendothel entfallen. Nur an der Fläche die Kapillar- und Alveolarmembran gemeinsam bilden, findet der Gasaustausch statt. Sie ist weder mit der Alveolaroberfläche noch mit der Oberfläche des Kapillarbettes identisch, über ihre Größe bestehen keine gesicherten Vorstellungen. Meessen schätzt die Anzahl der Alveolen auf 150 Millionen 1 Milliarde, und die Alveolaroberfläche zwischen 30 und 200 m^2. Auf die Daten des Kapillarbettes wurde bei der Perfusion eingegangen.

Die Kontaktzeit der Erythrozyten und des Blutes mit der Alveolarluft (Diffussionszeit) beträgt ungefähr 0,6 sec. Am Ende der Kapillaren beträgt die O_2 -Spannung 100 mm Hg. 1-2 % des Herzzeitvolumens nehmen am O_2 Austausch in den Lungen nicht teil, da venöses Blut direkt in das arterielle gelangt durch die Venae Thebesii, die direkt in den linken

Ventrikel münden und die Venae bronchiales.

Eine konstante alveolare Sauerstoffkonzentration und damit ein konstanter alveolärer O_2-Druck wird durch die gleichmäßige Verteilung der inspirierten Luft in die vielen Hundert Millionen Alveolen erreicht, dafür ist eine normale Ventilation Voraussetzung.

Die Ventilation:

Die Ventilation ist ein dynamischer Vorgang mit dem Ziel durch die In- und Exspiration eine dem jeweiligen O_2 Bedarf angepasste Luftmenge, nach dem Prinzip einer Konvektionspumpe umzuwälzen. Die Ventilation wird über ein kompliziertes nervales und blutchemisches System gesteuert. Man unterscheidet chemische Antriebe (pH-Absinken, CO_2 Überschuß), diese greifen direkt am Atemzentrum in der Formatio reticularis des Medulla oblongata an und synaptische Antriebe, welche nicht direkt am Atemzentrum, sondern im Glomus caroticum und im Aortenbogen (O_2 Mangel) oder in der Lunge selbst sowie in der Atemmuskulatur (Dehnungsrezeptoren) ansetzen.

Die Gesamtventilation der Lungen pro Minute beträgt bei einer normalen Atemfrequenz von 11-14/min. 4000-7000 ml. Die Beziehungen zwischen Minutenvolumen und O_2 Verbrauch des Organismus werden von Rossier und Mean spezifische Ventilation genannt.

$$\text{spez. Ventilation} = \frac{\text{Minutenvolumen in ml (BTPS)}}{O_2 \text{ Verbrauch in ml (STPD)}}$$

Für die Aufnahme von 1 ml O_2 müssen 28 $\pm$ 3 ml Luft ventiliert werden; d.h. die spezifische Ventilation ist von dem Verhältnis der Alveolären- und Totraumventilation abhängig.

Die Ventilation wird in die anatomisch, funktionelle Totraumventilation und in die alveoläre Ventilation gegliedert.

Die Bedeutung des anatomischen Totraumes (Nase, Mund, Rachen, Kehlkopf, Trachea, Bronchien und Bronchiolen) besteht hauptsächlich in der Anfeuchtung und Erwärmung der inspirierten Luft. Der funktionelle Totraum umfaßt zusätzlich zum anatomischen Totraum Alveolen ohne Durchblutung und Alveolen, die im Verhältnis zur Durchblutung überbelüftet sind. Die Inspirationsluftmenge, die sich in diesem "Raum" befindet nimmt am Gasaustausch nicht teil. Beim gesunden jungen Menschen beträgt der Anteil der Totraumventilation am Atemminutenvolumen 25-30 %, beim älteren Menschen kann der Anteil auf 40 % ansteigen, bei Lungenerkrankungen z. B. Emphysem liegt der Anteil noch weit höher (Doll).

Das Alveolarluftvolumen, das die gesamte pro Zeiteinheit ausgeschiedene Kohlensäure enthält (ideale Alveolarluft) entspricht der alveolären Ventilation. Sie beträgt normalerweise 2/3 der Gesamtventilation. Berechnet wird sie nach der von Enghoff (1938), Rossier und Mean (1942-46) und Riley (1946) erarbeiteten Formel:

$$\text{alveoläre Ventilation in ml } (37^{\circ}C) = \frac{CO_2 \text{ Ausscheidung (ml)} \times 863}{\text{art. } PCO_2}$$

Zieht man vom Atemminutenvolumen die alveoläre Ventilation ab so erhält man die Totraumventilation.

Die Verteilung von Ventilation und Perfusion:

Beim physiologisch Gesunden beträgt die alveoläre Ventilation 4,0l./min. der gleichzeitige Blutdurchfluss beträgt jedoch 5,0l./min. Dies ergibt ein Ventilation-Perfusionsverhältnis von 4,0:5,0=0,8. Dieses ideale Verhältnis gilt jedoch nicht für alle Alveolen. West und Dollery haben 1966 mit Hilfe von radioaktiven CO-11 und Xenon-113 eine Methode entwickelt, um die Ventilation und Lungenperfusion an aufrechtstehenden gesunden Menschen zu messen. Nach West ist die Perfusion der Lungenspitzen am aufrechtstehenden Menschen viel geringer als die der Lungenbasis, nicht ganz so stark wie die Perfusion nimmt die Ventilation von der Basis zu den oberen Lungenabschnitten ab. Nach Bryan ist die Ungleichmässigkeit der Lungenperfusion in Rücken- und Bauchlage am wenigsten ausgeprägt.

West, Dollery und Naimark berichteten 1964 über erzielte Änderungen des Blutdurchflusses in der Lungenbasis und den Lungenspitzen bei Änderungen des Pulmonalarteriendruckes an einer isolierten Hundelunge. Die Versuche an diesen Hundelungen wurden unter den gleichen Bedingungen eines aufrechtstehenden Menschen durchgeführt. Bei niederem Pulmonalarteriendruck besteht eine geringe Durchblutung der Lungenspitzen gegenüber der Lungenbasis, bei hohem Pulmonalarteriendruck besteht im Verhältnis zur Lungenbasis starke Durchblutung der Lungenoberfelder.

Denison, Ernsting und Fryer zeigten 1964 an physiologisch gesunden Männern, die an den Beinen aufgehängt wurden, daß die Lungenperfusion in den oberen Lungenfeldern im Verhältnis zur Basis doppelt so hoch ist.

Braunwald und Friedmann stellten 1967 an 35 Patienten mit Mitralstenosen fest, daß die mit

Hilfe der Lungenperfusionsszintigraphie gemessene Durchblutung, in direkter Beziehung zur Höhe des linken Vorhofdruckes steht. Bei allen Patienten wird eine grössere Durchblutung der Lungenspitzen im Verhältnis zur Lungenbasis gefunden.

1946 wiesen Euler und Liljestrand im Tierversuch nach, daß nicht ventilierte Abschnitte der Lungen von der Blutzirkulation ausgeschlossen werden. Dieser alveolovaskuläre Reflex wurde 1951 von Motley und Mitarbeitern auch beim Menschen gefunden. Er resultierte aus der Erhöhung des alveolären pCO_2 oder der Erniedrigung des alveolären pO_2. Feine, Hayduk und Hoffmann untersuchten den Einfluss der Lungenventilation im Lungenperfusionsszintigramm und stellten durch Blockade eines Hauptbronchus mittels Katheters fest, dass der von Euler und Liljestrand gefundene alveolovaskuläre Reflex beim Menschen in wenigen Minuten abläuft und zu einer im Partikelszintigramm nachweisbaren Drosselung der Durchblutung führt. Die physiologische Bedeutung dieses alveolovaskulären Reflexes liegt in der Minderung oder Ausschaltung der Durchblutung in wenig oder nicht ventilierten Gebieten der Lunge, um eine möglichst hohe Arterialisierung des Blutes im kleinen Kreislauf zu erhalten.

Somit hängen die Lungenperfusionsverhältnisse beim Menschen von einer Vielzahl von Bedingungen ab (Pulmonalarteriendruck, linker Vorhofdruck, Shuntverbindungen). Bei verschiedenen Körperlagen sind die Perfusionsverhältnisse beider Lungen weitgehend verändert. Alle Veränderungen der alveolären Ventilation führen über den alveolovaskulären Reflex zu Veränderungen der Lungenperfusion. Mit Hilfe der Lungenperfusionsszintigraphie sind diese Lungenperfusionsveränderungen quantitativ erfassbar.

Physiologische und szintigraphiesche Grundlagen der Lungenperfusionsszintigraphie.

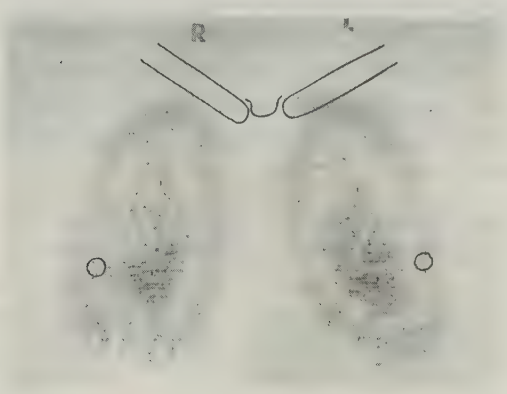
Fixierung und Speicherung:

Für das Perfusionsszintigramm werden 100-200 µci Jod-131-makroaggregiertes Humanalbumin im Liegen oder Stehen in die linke Cubitalvene bei Inspiration injiziert. Die Standardisierung der Injektionstechnik ist notwendig, um eine regelmässige Verteilung der Partikel in den Lungen zu bekommen. Das Lungenszintigramm wird sofort anschliessend geschrieben. Nach Untersuchungen von Wagner und Mitarbeitern werden die Partikel mit einem mittleren Durchmesser von 20-30 Mikron während einer einzigen Lungenpassage zu fast 100 % im Lungenkapillarbett festgehalten. Oeser und Mitarbeiter zeigten, daß die über den Lungen gemessene Radioaktivität der Menge der einströmenden Teilchen proportional ist, diese Menge ist wiederum proportional dem einströmenden Blutvolumen. Nach Untersuchungen von E. R. Weibel und Mitarbeitern werden etwa 20 Millionen Kapillaren der Lunge durch diese strahlenden Mikroembolie temporär blockiert. Die Kapillaren einer menschlichen Lunge werden auf 300 Milliarden geschätzt (Neill, Rankin und Forster). Damit ist das Verhältnis von blockierten zu freien Kapillaren grösser als 1 : 10 000.

Das normale Lungenszintigramm:

Das normale Lungenszintigramm läßt eine symmetrische Verteilung der Radioaktivität über den einzelnen Lungenabschnitten erkennen; welche der bestehenden Durchblutungsverteilung proportional ist. Das im Farb- oder Photodruck registrierte Szintigramm zeigt eine flächenhaft zweidimensionale Intensität an. Sie entspricht der Verteilung der radioaktiven Teilchen und wird von der Form des Raumes und dem Ausmaß des

Lungenparenchyms bestimmt. Folglich ist ein Maximum an Intensität im Bereich des größten Lungendurchmessers, bei asthenischen Patienten im Verlauf der Mamillarlinie zu finden.

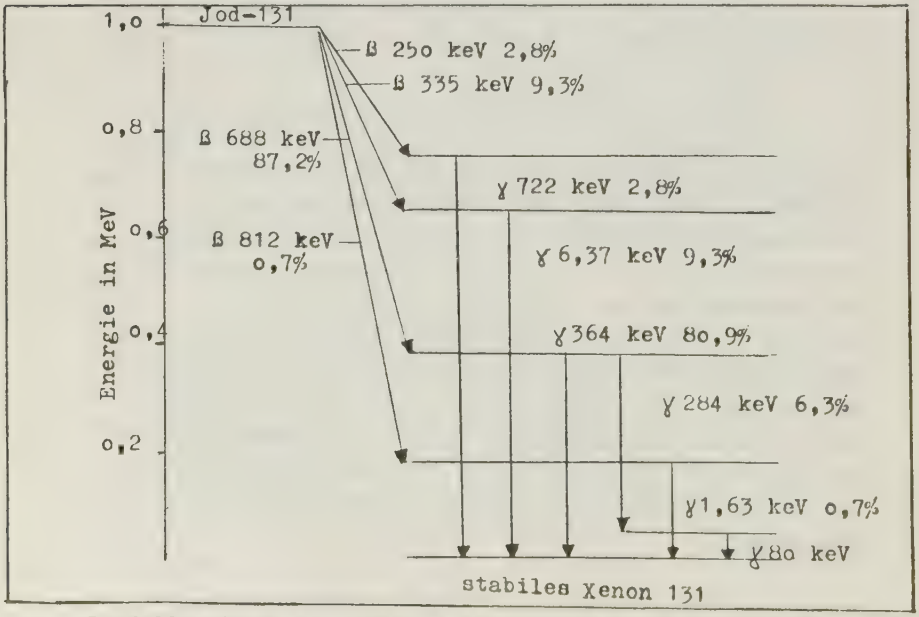


Ein intensitätsarmer Randsaum ist durch die Volumen-Abnahme in den lateralen, apikalen und medialen Lungenpartien bedingt. Die Intensitätsabnahme kaudal- und lateralwärts ist zusätzlich durch eine Zwerchfellkontraktion bzw. Thoraxbewegung während der Abnahme des Szintigramms bedingt. Herz und Mediastinum sind im normalen Lungenszintigramm ausgespart, da die Partikel fast vollständig in den Lungenkapillaren fixiert sind. Beim normalen Lungenszintigramm gelangt nur freies mitinjiziertes Jod-131 oder Fragmente der etikettierten Eiweißmakroaggregate in den großen Kreislauf.

Abbau und Zerfall der Jod-131 etikettierten MAA:

Nach Untersuchungen von Murphy und Mitarbeitern beginnt die Ausscheidung der Makroaggregate und der etikettierten Radionuklide mit der Umfangabnahme der Partikel (MAA) durch Proteolyse. Dadurch werden sie im Volumen kleiner und somit kapillardurchgängig und in den großen Kreislauf abgegeben. Über 80 % der Radioaktivität werden in den ersten 48 Stunden über den Urin ausgeschieden, vorausgesetzt, daß die Schilddrüse durch Lugolsche Lösung (KJ, J_2) blockiert worden ist.

Das gebräuchlichste Isotop in der Lungenperfusionsszintigraphie ist neben Indium-113 und Technetium-99m das Jod-131. Mit einer relativ langen Halbwertszeit von 8,075 Tagen zerfällt es zu stabilem Xenon-131. Abbildung 1 zeigt das Zerfallsschema von Jod-131.



Zerfallsschema von Jod-131 gezeichnet nach Landolt-Börnstein.

Die zur Errechnung der effektiven Halbwertszeit notwendige biologische Halbwertszeit in der Schilddrüse schwankt in der Literatur zwischen 50 Tagen (Seltzer) und 138 Tagen (Glocker). Eine mittlere HWZ von 90 Tagen wird von Bansi und Halnan angegeben. Bei einer biologischen HWZ von 90 Tagen beträgt die effektive HWZ für Jod-131 7,3 Tage. Die effektive HWZ wird nach folgender Formel errechnet:

$$T_{eff} = \frac{T_{phys.} \times T_{biol.}}{T_{phys.} + T_{biol.}}$$

Dabei bedeutet $T_{biol.}$ die biologische Halbwertszeit und $T_{phys.}$ die physikalische Halbwertszeit.

Nebenwirkungen und radioaktive Toxizität der Lungenszintigraphie:

Im allgemeinen wird die Injektion des makroaggregierten Humanalbumins reaktionslos vertragen, da nur jede 10000. Kapillare verstopft wird. Im Tierversuch wurden haemodynamische Effekte erst nach Injektion einer 5000 fachen Partikelmenge erzielt (Taplin). Eine relative Kontraindikation stellen jedoch die cardial schwer dekompensierten Patienten dar, da jede wenn auch geringe zusätzliche Belastung des kleinen Kreislaufs vermieden werden soll. Überempfindlichkeitsreaktionen besonders bei mehrfacher Injektion der Partikel sind bisher nicht in der Literatur beschrieben worden, müssen jedoch wie bei jeder Eiweißinjektion in Betracht gezogen werden. Deshalb sollte die intravenöse Injektion von Albuminpräparaten unter den Kautelen der Schockbekämpfungsvorsorge durchgeführt werden. Eine absolute Kontraindikation stellt lediglich eine Gravidität sowie die Stillperiode dar.

Vor jedem Lungenperfusionsszintigramm mit Jod-131 MAA muß die Schilddrüse durch

inaktives Jod geblockt werden, damit sie als kritisches Organ ausfällt. Die Strahlenbelastung durch eine Aktivitätsmenge von 100 - 200 µci Jod-131 makroaggregiertes Humanalbumin bewegt sich dann in der Größenordnung von 1 - 2 Röntgenaufnahmen. Nach Wagner Mitarbeitern beträgt die effektive HWZ für Jod-131 in den Lungen 4 - 10 Stunden. Die Ausscheidung geht nach Furth und Mitarbeitern in zwei Phasen vor sich, die erste nach 0,25 Stunden (initial) und die letzte Aktivität wird nach 3,2 Tagen ausgeschieden. Die Strahlenbelastung der menschlichen Lungen beträgt nach Wagner 0,3 rad.

Die Toxizität der MAA wurde an ausgedehnten Studien an Hunden und Ratten von Taplin (1964) bestimmt. Er zeigte, daß bei Dosen von einigen ug/Kg bis 10 mg/kg keine Schädigung zu erwarten ist. Erst bei Dosen von 10 - 20 mg/kg wurde eine Tachypnoe als erstes Zeichen einer Schädigung wahrgenommen. Höhere Dosen von 50 - 250 mg/kg erzeugen schwere Atemnot und Tachypnoe und einen zunehmenden Blutdruckabfall. Die Sicherheit, daß es bei der Lungenszintigraphie zu keinem toxischen Schaden kommt, ist durch die Breite der Dosis zwischen 5 - 50 ug/kg/min. und der Minimumstoxischen Dosis von ungefähr 2 mg/kg/min. gewährleistet. Kennady und Taplin prüften 1965 an Affenhirnen die Möglichkeit zerebraler Mikroembolien durch Jod-131 etikettierten Eiweißmakroaggregate. Sie bewiesen mit ihren Versuchen, daß eine zerebrale Komplikation unwahrscheinlich ist, wenn die Dosis von 2 mg/kg/min. nicht überschritten wird.

Zu Fixationsausfällen führende Mechanismen

Mögliche Ursachen für Minderungen der lokalen Aktivität in den einzelnen Lungenabschnitten sind nach einer Zusammenstellung von Oeser und Ernst:

1. mechanisch wirksame Methoden
   a) endovasaler Verschluß, z. B. Blockade einzelner Gefäßäste durch eine Lungenembolie.
   b) paravasaler raumfordernder Prozwess, d. h. Tumor
   c) endo- und paravasaler Prozess, z. B. Einbruch eines Tumors mit begleitender Thrombosierung.
   d) Gefäßmißbildungen des Lungengewebes, z. B. kavernöses Haemangion, Zystenlunge, Pulmonalarterienagenesie.
2. reflektorische Vorgänge
   Bei Ventilationsstörungen durch eine sekundäre Drosselung der Durchblutung über den alveolovasculären Reflex (Euler und Liljestrand). Durch vergleichende funktionelle und szintigraphische Untersuchungen der Lungen, konnte von Feine, Hayduk und Hoffmann die Bedeutung des physiologischen alveolo-vasculären Reflexes durch selektive Bronchusblockade gefunden werden.
3. Druckänderungen im kleinen Kreislauf
   Durch Veränderungen des Durchblutungsmusters bei Druckänderungen im linken Vorhof und im kleinen Kreislauf (z. B. Mitralvitium).

Indikationen für das Lungenperfusionsszintigramm

Unter den primären Gefäßprozessen ist der Verdacht auf Lungenembolie oder -infarkt die wichtigste Indikation. Das Szintigramm zeigt schon

Aktivitätsausfälle, wenn das Röntgenbild noch völlig normal ist und informiert vor allem über Ort und Ausdehnung der resultierenden Durchblutungsstörungen (Feine). Außerdem kann das Lungenszintigramm im Bett durchgeführt werden und stellt somit kaum eine Belastung für den Patienten auch in kritischen Situationen dar.

Nach Oeser und Ernst führen raumfordernde Prozesse im Hilusbereich häufig zu einer partiellen Gefäßkompression, noch bevor das Bronchuslumen eingeengt ist und zu einer Belüftungsstörung führt. Somit stellt die Verdachtsdiagnose auf einen raumfordernden hilären Prozess ebenfalls eine Indikation für das Lungenszintigramm dar.

Untersuchungen, die hier im Hause von Feine und Mitarbeitern gemacht wurden, weisen darauf hin, daß bei beginnendem Bronchus-Ca, vor allem die beginnende Bronchusstenose durch den Tumor, eine Ventilationsstörung bewirkt und dadurch sekundär zu einer Minderdurchblutung in entsprechenden Lungenabschnitten über den alveolo-vasculären Reflex führt. Da hier röntgenologisch noch keinerlei Manifestation vorliegt, da die Bronchusstenose bei beginnendem Bronchus-Ca noch zu gering ist, um röntgenologisch direkte oder indirekte Tumorzeichen zu machen, kann Ausfall oder Minderung der Aktivität im Lungenperfusionsszintigramm ein Zeichen für ein beginnendes Bronchus-Ca sein. Diese Koppelung von Gasaustausch und Durchblutung in den Lungen ermöglicht auch alle anderen Arten von Bronchusstenosen (entzündliche Stenosen, Bronchusadenome, Fremdkörper) mit Hilfe der Lungenperfusionsszintigraphie zu lokalisieren und zu detektieren. Vor allem können diese okkulten Belüftungsstörungen im Szintigramm vorzeitiger als im Röntgenbild diagnostiziert werden.

Für die Bewertung der differentiellen Lungenfunktion einzelner Lungenabschnitte kann die Lungenperfusionsszintigraphie wertvolle Hinweise geben: nach Operationen, bei narbigen Veränderungen, beim umschriebenen Emphysem (lobäres Emphysem beim Kind), bei entzündlichen Infiltraten, interstitiellen Prozessen (Pneumokoniosen), bei der Lymphangiosis carcinomatosa. Einschränkungen der Atemfunktion durch extrapulmonale Prozesse (Pleuraschwarten, Pleuraergüsse, Rippenfrakturen) führen zu starker einseitiger oder umschriebener Minderung der Partikelfixation im Szintigramm.

Friedmann und Braunwald zeigten, daß mit steigendem mittleren Druck im linken Vorhof (35 Patienten mit Mitralstenosen) die Perfusion der oberen und mittleren Lungenabschnitte zunimmt. Nimmt man den Quotienten aus der Summe der Impulsintegrale der Ober- und Unterfelder bei Injektion der Partikel im Stehen, so sieht man, daß dieser Quotient (siehe Teil "Eigene klinische Untersuchungen und Ergebnisse") etwa proportional dem Druck im linken Vorhof ansteigt. Damit kann man den Druck im linken Vorhof und im kleinen Kreislauf auf einfache Weise abschätzen, was vof allem bei Herzvitien im Kindesalter von Bedeutung sein kann.

Technik der Lungenperfusionsszintigraphie:

Die intravenös injizierten Humanmakroalbuminpartikel, die mit Jod-131 markiert sind, bleiben als Gamma-strahlende Mikroembolie in den Lungenkapillaren hängen. Der Szintigraph, im amerikanischer Literatur Scanner (to scan = abtasten) genannt, tastet mit einem durch Kollimatoren richtungsempfindlich aufnehmenden Szintillationszähler in horizontaler oder vertikaler Richtung, zeilenweise und mäanerförmig, die zu untersuchenden Lungenfelder ab.

Der Szintillationskristall (meist NaJ, das mit Thallium aktiviert wurde), ist der für die Wechselwirkung mit den Gammastrahlen empfindliche Bereich des Szintillationszählers. Die auftreffende Gammastrahlung wird im Szintillationskristall durch eine Reihe von Absorptions- und Anregungsprozessen in Lichtblitze umgewandelt.

Die Intensität des erzeugten Lichtblitzes ist proportional der Energie der gemessenen Gammastrahlung. Das Licht fällt auf eine Photokathode und löst hier entsprechend seiner Intensität Elektronen aus, die in einem Photomultiplier in ihrer Zahl um den Faktor 10^5 - 10^6 vermehrt werden. Am Ausgang des Multipliers erhält man so einen Impuls der in seiner Höhe wiederum der gemessenen Gammastrahlung proportional ist.

Im Multiplier fließende Dunkelströme und die Höhenstrahlung bewirken den Nulleffekt (background). Dieser störende Untergrund wird reduziert und unterdrückt durch Verwendung von Analysatorschaltungen- oder durch einfachen "background cut off". Dies bewirkt eine wesentliche Verbesserung der Bildqualität.

Die Ausblendung erfolgt mit Hilfe von Kollimatoren, nur ein kleiner Teil der Lungen ist proportional einem Punkt oder Strich im Szintigramm, Die Kollimatoren (honey-comb-Kollimatoren) bestehen aus zahlreichen kleinen Bohrungen, die auf einen Focus zielen.

Die Tatsache, daß das menschliche Auge Farbunterschiede weit besser erkennen kann, als Unterschiede in Grautönen oder in schwarz-weissen Punktfolgen, haben Mallard und Peachey 1959 angeregt ein System zu beschreiben, wonach unterschiedliche Impulsraten im Szintigramm in verschiedenen Farben aufgezeichnet

werden. Der Picker Magna-Scanner stellt eine Modifikation des nach Hine entwickelten Apparates dar.

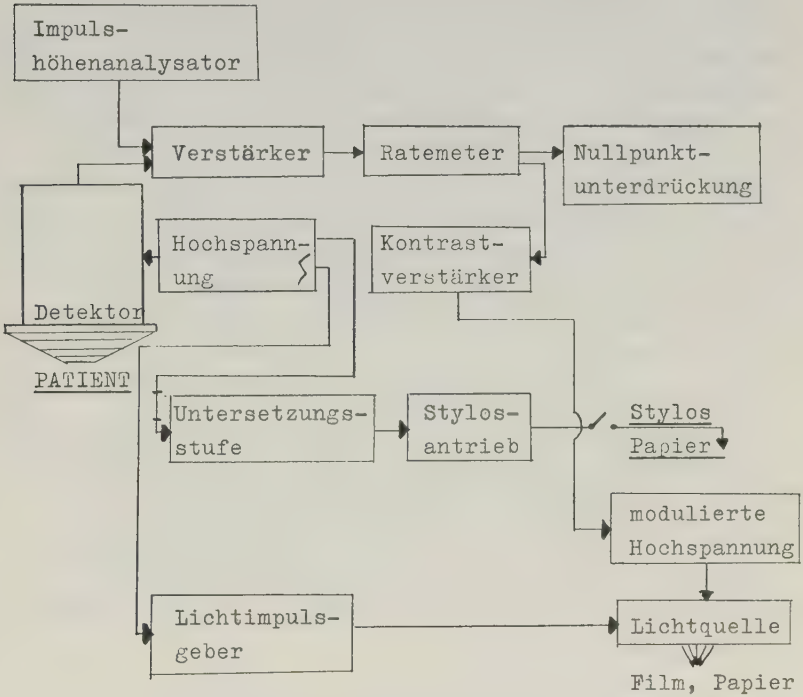


Abbildung 2. Blockschema eines Scanners. (gezeichnet nach R. Wolf, die Szintigraphie)

Die Einstellung erfolgt so, daß sich die 8 Farben über den gesamten Impulsratenbereich erstrecken. Jeder Farbe entsprechen 12,5 % der maximalen Impulsrate. Die Farben sind so gewählt, daß zuerst weiss kommt, so daß ein "cut-off" von 12,5 % vorgegeben ist. Nach schwarz folgen dann sechs weitere Farben in der

Reihenfolge des Lichtspektrums: violett, blau, grün, gelb, hellrot und dunkelrot. Bei einem Anstieg bzw. Abfall der Impulsraten über diese Grenzen hinaus erfolgt also jeweils ein Farbwechsel. Die Zeitkonstante der motorisierten Farbbandsteuerung beträgt bei der Lungenszintigraphie 0,2 sek. In der gleichzeitig mitgeschriebenen Kopie erscheinen auch die im Colorszintigramm unsichtbaren weissen Punkte, damit keine Information verloren geht (Wolf und Oeser, Ernst, Rach). Das ausgedruckte Szintigramm gibt somit die Aktivitätsdifferenzen durch unterschiedliche Strichdichte und zusätzlich durch Farben wieder, die der jeweiligen Aktivitätszone entsprechen.

Um das Lungenperfusionsszintigramm, das ein "Durchblutungsmuster" der Lungen im Augenblick der Injektion darstellt, zusätzlich quantitativ zu erfassen, wurden hier im Hause mit einem speziell konstruiertem Zählwerk (Feine), die Summe der Impulse über den einzelnen Lungen ermittelt und das Verhältnis der Impulsintegrale einzelner Lungenabschnitte zueinander aufgestellt.

Eigene klinische Untersuchungen und Ergebnisse.

Durchführung eines Lungenperfusionsszintigramms.

Eine halbe Stunde vor der Durchführung des Lungenperfusionsszintigrammes bekommt die Versuchsperson 30 Tropfen Lugol'sche Lösung (KJ,J_2) in Wasser verdünnt zu trinken, damit die Schilddrüse durch inaktives Jod geblockt wird und somit als kritisches Organ ausfällt. Zur Lungenperfusionsszintigraphie wurde das Präparat Albumin-Jod-131-Partikel der Farbwerke Hoechst benutzt, das aus Jod-131 markiertem Humanalbumin hergestellt wird und dessen

mittlere Teilchengrösse bei 15 - 20 Mikron liegt, bei einem angegebenen Grössenbereich von 5 - 50 µ.

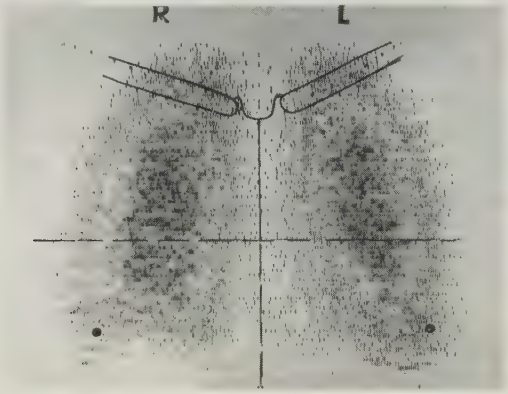
Um eine regelmässige Verteilung der Partikel im Blut und eine gleichmässige Dosierung zu erhalten, ist eine Standardisierung der Injektionstechnik notwendig:

Es wurden genau 100 µci als Standarddosis genommen und jeweils in n/ 10 ml. des Jod-131-Albumin-Partikelpräparates umgerechnet. Bei diesen geringen Mengen, eine Einzeldosis des Präparates enthält 1 - 2 mg. Eiweiß, haben sich die Tuberkulinspritzen zum genauen Aufziehen bestens bewährt. Vor der Partikelentnahme muß das Jod-131-Albumin-Partikelpräparat 2 Minuten geschüttelt werden, um eine gleichmässige Verteilung der Partikel zu erhalten. Nach dem Aufziehen muß die Tuberkulinspritze bis zur Injektion zwischen Daumen und Zeigefinger dauernd gedreht werden, um ein Zusammenballen oder Absinken der Partikel zu vermeiden. Die Injektion wurde im Stehen oder Liegen in die linke Kubitalvene vorgenommen. Nach dem Einstich werden die Partikel mit dem venösen Blut des Patienten vermischt, und bei maximaler Inspiration injiziert. Die maximale Inspiration, die die Versuchsperson durchführt, bei der gleichzeitig die Partikel injiziert werden, muß vor der Injektion mit der Versuchsperson geübt werden.

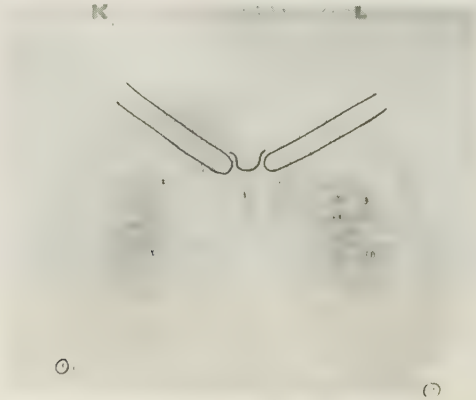
Das Szintigramm wurde anschließend im Liegen entweder in dorsaler oder ventraler Projektion geschrieben. Da es galt die Impulsintegrale beider Lungen, getrennt in Ober- und Unterfelder, zu bestimmen um das Verhältnis der Impulsintegrale dieser Felder zueinander aufzustellen, mußten vor allem die Lungengrenzen kranial und kaudal genau bestimmt werden,

um die Aufteilung in Lungenoberfeld und Lungenunterfeld zu erhalten.

Bei ventraler Projektion wurden die Lungen von ventral im Liegen szintigraphiert. Bei asthenischen Versuchspersonen lag die Lungenmitte meist im oberen Drittel der Fläche zwischen den beiden Clavikeln und den beiden Mamillen, siehe Abbildung 4.



Bei pyknischen, adipösen Versuchspersonen war die Lungenmitte im unteren Drittel der Fläche zwischen den beiden Clavikeln und den beiden Mamillen zu finden, siehe Abbildung 5.



Die Lungengrenzen cranial und caudal wurden durch genaue Palpation und Auscultation, unter zu Hilfenahme der Atemverschieblichkeit im Liegen bestimmt, und mit dem angefertigten Röntgenbild verglichen. Mit einem Maßstab wurde dann genau die Mitte zwischen oberer- und unterer Lungengrenze bestimmt, mit einem roten Fettstift am Thorax der Versuchsperson markiert und am Scanner mit Hilfe einer Gleitschiene, die einen Kontaktunterbrecher enthält, genau eingestellt. Wenn der Detektor die Mitte der zu szintigraphierenden Lungenfläche erreicht hat, schaltet der motorisierte Teil des Scanners durch die Gleitkontaktschiene von selbst ab. Die Impulsintegrale der rechten und linken Lunge, getrennt in Ober- und Unterfeld, konnten dann am Zählwerk genau abgelesen werden.

Der Scanner wurde bei allen Lungenszintigrammen, die an den Versuchspersonen durchgeführt worden sind, gleich eingestellt:

Zuerst wurde das absolute Impulsmaximum über beiden Lungen mit dem Detektor gesucht und eingestellt. Dieses Impulsmaximum wurde mit der Farbbandsteuerung auf die Farbe (dunkelrot), die der höchsten Impulsrate entspricht, eingestellt. Die Zeitkonstante der Farbsteuerung betrug 0,2 Sekunden. Eine Impulsrate von 8 % wurde unterdrückt, damit die Lungen von der Untergrundstrahlung besser herausgehoben wurden (background-cut-off). Der Diskriminator des Scanners mußte auf die Jod-131 Linie eingestellt sein. Mit dem Detektor wurden beide Lungen von oben nach unten abgefahren. Die Stelle der ersten Impulse wurden cranial und caudal am Thorax der Versuchsperson mit rotem Fettstift markiert. Dieses so begrenzte Thoraxfeld der Versuchsperson tastete der Szintilationszähler in horizontaler Richtung, zeilenweise

und mäanderförmig ab. Die Abnahme des Lungenperfusionsszintigrammes dauerte je nach Größe der Lungen, bei einer mittleren Scangeschwindigkeit von 40 cm/min. ungefähr 45 - 60 Minuten.

Damit eine gewisse anatomische Zuordnung des Lungenperfusionsszintigrammes möglich war, wurden in das ventral geschriebene Lungenszintigramm die beiden Mamillen, die beiden Clavikel und die vorderen Rippenbögen XII (nach Markierung mit dem Stichel) mit Tusche eingezeichnet. In beiden Lungenober- und Unterfelder wurden jeweils die Stellen mit höchster Aktivität, die im Szintigramm dunkelrot sind, am Thorax der Versuchsperson mit einem roten Fettstift markiert, um an diesen vier Punkten der Ober- und Unterfelder mit einem Strahlungsmeßgerät die maximale Impulsrate/2' zu erhalten.

Der Szintillationszähler des Strahlungsmeßgerätes wurde an der markierten Stelle im Lungenober- oder Lungenunterfeld aufgesetzt, dann wurde die maximale Impulsrate/2' bei einer Zeitkonstante von 2 Minuten als statistischer Mittelwert ermittelt. Außerdem wurde die Aktivität in Abdomen und Hepar bei einer Zeitkonstanten von 2 Minuten bestimmt, um einen eventuellen größeren Partikelverlust in die Hepar oder das Abdomen auszuschließen.

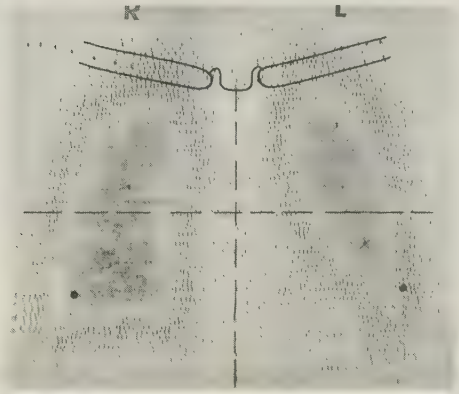
Die Versuchspersonen:

Es wurden von über 60 Versuchspersonen Lungenperfusionsszintigramme geschrieben. Davon waren 2/3 Männer und 1/3 Frauen. Die Grundbedingung war bei der Auswahl der Versuchspersonen, daß sie physiologisch gesunde Lungen hatten. Dies wurde durch eine Thoraxübersichtsaufnahme und durch einfache Atemfunktionskontrollen (Tiffeneau) objektiviert. Die Versuchspersonen waren zum größten Teil Patienten aus

dem hiesigen Institut, die sich nach vorheriger Aufklärung für diese Lungenperfusionsszintigraphie freiwillig zur Verfügung stellten.

Ergebnisse bei Injektion im Liegen und ventraler Projektion.

An 20 Versuchspersonen wurde bei Injektion im Liegen (linke Kubitalvene, Dosis 100 µci) die Lungenperfusionsszintigraphie durchgeführt. Abbildung 6 zeigt das Lungenperfusionsszintigramm mit den Impulsintegralverhältnissen einer Versuchsperson.



1707 Imp.
42600/2'

1578 Imp.
42 600/2'

1862 Imp.
38976/2'

1189 Imp.
32 616/2'

Hepar: 4022/2' Abdomen: 3848/2'

Versuchsperson: Helmut B., geboren 27.02.40
Kontrolle: Thoraxübersichtsaufnahme o.B.
Lungenimpulsintegralverhältnisse:

Rechte Lunge/linke Lunge = 1,29; re.Lu.OF./li.Lu.OF = 1,02 re.Lu.UF./li.Lu.UF. = 1,46; re.Lu.OF. + li.Lu.OF./ re.Lu.UF + li.Lu.UF. = 1,08

Impulsintegralverhältnisse bei Injektion im Liegen und ventraler Projektion:

Versuchsperson	Alter	re.Lunge/li.Lunge	re.Oberfeld/li.Oberfeld
A Karl M.	24.08.59	1,25	0,98
B Herbert K.	24.01.48	1,25	1,14
C Joachim B.	26.12.45	1,27	1,13
D Albert M.	27.02.43	1,25	1,08
E Helmut B.	03.12.40	1,29	1,09
F Emine A.	13.03.40	1,28	1,12
G Anita L.	03.02.39	1,27	1,09
H Dieter K.	05.10.39	1,35	1,03
I Marianne S.	24.03.39	1,19	1,25
K Richard K.	08.09.31	1,24	1,12
L Spirios R.	04.03.30	1,19	1,11
M Josephe S.	15.03.30	1,20	1,16
N Richard W.	15.02.27	1,25	1,15
O Adolf K.	26.05.24	1,29	1,13
P Emilie S.	11.06.10	1,24	1,14
Q Gertrud W.	19.03.10	1,16	1,08
R Albert H.	09.03.05	1,28	1,15
S Franz M.	23.01.04	1,23	1,14
T Karl M.	25.05.01	1,23	1,12
U Jean P.	31.07.99	1,25	1,14
Mittelwert + Sigma Bereich		1,26 ± 0,044	1,12 ± 0,054

Der arithmetische Mittelwert des an 20 Versuchspersonen gemessenen Impulsintegralverhältnisses der rechten/linken Lunge beträgt 1,26. Die nach den oben genannten Bedingungen ermittelten Werte lagen innerhalb einem 2-Sigma Bereich von ± 0,08. Für das Impulsintegralverhältnis re.Lungenoberfeld/li.Lungenoberfeld wurde ein Mittelwert von 1,12 ermittelt, die Werte lagen innerhalb eines 2-Sigma Bereiches von ± 0,108.

Impulsintegralverhältnisse bei Injektion im Liegen und ventraler Projektion (Fortführung der Tabelle)(Seite 27)

	re. UF/li. UF	re. OF + li. OF / re. UF + li. UF	Max.Imp./Min. (Einstellung des Bereiches)	Dotfaktor
A	1,54	1,16	8 000/10k x 1	16
B	1,42	1,21	12 000/30k x 1	32
C	1,50	1,23	14 000/30k x 1	32
D	1,43	1,21	16 000/30k x 1	32
E	1,56	1,08	11 000/30k x 1	32
F	1,39	1,17	18 000/30k x 1	32
G	1,28	1,30	13 000/30k x 1	32
H	1,48	1,22	15 000/30k x 1	32
I	1,23	1,14	10 000/30k x 1	32
K	1,45	1,18	18 000/30k x 1	32
L	1,48	1,22	9 000/10k x 1	16
M	1,42	1,17	14 000/30k x 1	32
N	1,43	1,21	11 000/30k x 1	32
O	1,44	1,19	10 000/30k x 1	32
P	1,54	1,25	11 000/30k x 1	32
Q	1,34	1,21	18 000/30k x 1	32
R	1,50	1,19	16 000/30k x 1	32
S	1,46	1,13	16 000/30k x 1	32
T	1,48	1,21	7 000/10k x 1	16
U	1,42	1,22	16 000/30k x 1	32

Mittelwert + Sigma Bereich : 1,44 ± 0,072 1,20 ± 0,048

Der 2-Sigma Bereich des an 20 Versuchspersonen errechneten Mittelwertes des Impulsintegralquotienten betrug bei re. Lungenunterfeld/li. Lungenunterfeld Mittelwert 1,44 ± 0,144 bzw. re. Lungenoberfeld + li. Lungenoberfeld :re. Lungenunterfeld + li. Lungenunterfeld Mittelwert 1,20 ± 0,096. Die injizierte Dosis betrug bei allen Versuchspersonen 100 µci. Die Zeitkonstante der motorisierten Farbbandsteuerung betrug immer 0,2 sek. Eine Impulsrate von jeweils 8 % wurde unterdrückt. Die jeweils angefertigte Thoraxübersichtsaufnahme enthielt keinen path. Befund.

Maximale Impulsratenverhältnisse/2' bei Injektion im Liegen und ventraler Projektion (Fortführung der Tabelle von Seite 27)

	re. Lunge/li. Lunge	re. OF/li. OF	re. UF/li. UF	re.OF + li.OF / re.UF + li.UF
A	1,23	1,02	1,54	1,29
B	1,03	1,04	1,15	1,01
C	1,08	1,01	1,16	0,93
D	1,05	1,08	1,18	1,11
E	1,07	1,02	1,14	1,18
F	1,14	1,04	1,23	1,00
G	1,18	1,09	1,34	1,13
H	1,26	1,15	1,43	1,19
I	1,10	1,13	1,09	0,99
K	1,10	1,10	1,11	1,19
L	1,08	1,10	1,06	1,15
M	1,17	1,09	1,23	1,21
N	1,12	1,09	1,04	1,09
O	1,12	1,08	1,21	1,00
P	1,05	1,10	1,22	0,99
Q	1,27	1,12	1,38	0,96
R	1,25	1,19	1,30	0,95
S	1,14	1,10	1,15	1,01
T	1,14	1,10	1,25	1,01
U	1,31	1,10	1,29	1,00
Mittelwert + Sigma Bereich:	1,14 ± 0,077	1,09 ± 0,046	1,23 ± 0,46	1,06 ± 0,32

Die maximalen Impulsraten/2' wurden über den 4 Lungenquadraten mit einem Flächenkollimator gemessen. Außerdem wurden die mittleren Quotienten der max. Impulsraten/2' der rechten Lunge/Hepar und der rechten Lunge zum Abdomen ermittelt: rechte Lunge / Hepar = 18 (9-22) rechte Lunge / Abdomen = 19,5 (11-24). Damit konnte bei diesen 20 Versuchspersonen ein größerer Partikelverlust in die Leber oder das Abdomen mit Sicherheit ausgeschloßen werden.

Mittelwerte + 2-Sigma Bereich:

re. Lunge/li. Lunge = 1,14 ± 0,154, re. Oberfeld/li. Oberfeld = 1,09 ± 0,092, re. Unterfeld/ li. Unterfeld = 1,23 ± 0,92, re. Oberfeld + li. Oberfeld/re. Unterfeld + li. Unterfeld = 1,06 ± 0,69.

Impulsintegralverhältnisse von 10 Versuchspersonen
bei Injektion im Liegen und dorsaler Projektion:

Versuchsperson	Alter	re. Lunge/li. Lunge	re. OF/li. OF
A Hans	K. 09.06.41	1,21	1,05
B Marianne	S. 02.01.36	1,14	0,98
C Hubert	Z. 11.06.35	1,18	1,02
D Dimitrios	M. 26.02.35	1,06	0,99
E Richard	K. 08.09.31	1,05	0,98
F Xaver	H. 15.04.30	1,11	1,06
G Erich	M. 27.06.22	1,14	1,00
H Michael	K. 12.01.11	1,05	0,96
I Mathäus	G. 04.05.10	1,08	1,03
K Hermann	G. 13.05.10	1,19	1,05
Mittelwert:		1,12	1,01
Sigma Bereich		± 0,062	± 0,035
2-Sigma Bereich		± 0,124	± 0,070

re. Unterfeld/li. Unterfeld	re.OF + li.OF / re.UF + li.UF	Max.Imp./Min.	Dot-faktor
A 1,27	1,08	16 000/30k x 1	32
B 1,22	1,05	11 000/30k x 1	32
C 1,24	0,98	14 000/30k x 1	32
D 1,14	0,93	9 000/10k x 1	16
E 1,16	0,85	10 000/30/ x 1	32
F 1,21	0,94	14 000/30k x 1	32
G 1,23	1,01	16 000/30k x 1	32
H 1,12	0,90	11 000/30k x 1	32
I 1,13	0,91	9 000/10k x 1	16
K 1,25	0,88	11 000/30k x 1	32
Mittelwert + Sigma Bereich :			
1,20	0,95		
Sigma Bereich :			
± 0,0564	± 0,075		

Bei der dorsalen Projektion wurden die Lungen von dorsal im Liegen szintigraphiert. Die Lungengrenzen kranial und kaudal wurden durch genaue Palpation und Auskultation unter zu Hilfenahme der Atemverschieblichkeit bestimmt. Mit einem Maßstab wurde die Mitte diese Lungenfläche bestimmt und am Thorax der Versuchsperson mit rotem Fettstift markiert.

Die dorsale Lungenperfusionsszintigraphie wurde mit denselben Bedingungen und Einstellungen durchgeführt, die bei der ventralen Projektion im Liegen beschreiben worden sind.

In das geschriebene Szintigramm wurden mit dem Stichel die dorsalen Bögen der 12. Rippen und die Schulterblätter eingezeichnet. Die Messungen der maximalen Impulsraten über den 4 Lungenquadraten wurden mit einem Flächenkollimator an der auf dem Bauch liegenden Versuchsperson durchgeführt.

2 Sigma Bereich der Mittelwerte:

re. Unterfeld/li. Unterfeld = $1{,}20 \pm 0{,}113$

$$\frac{\text{re. Oberfeld + li. Oberfeld}}{\text{re. Unterfeld + li. Unterfeld}} = 0{,}95 \pm 0{,}15$$

Maximale Impulsratenverhältnisse/2' bei Injektion im Liegen und dorsaler Projektion (Fortführung der Tabelle von Seite 30)

	re. LU/li. LU	re. OF/li. OF	re. UF/li. UF	$\frac{\text{re. OF + li. OF}}{\text{re. UF + li. UF}}$
A	1,18	1,12	1,28	1,04
B	1,12	1,04	1,27	0,91
C	1,13	1,02	1,25	0,94
D	1,05	1,00	1,14	0,86
E	1,03	0,99	1,10	0,86
F	1,09	1,01	1,18	0,90
G	1,13	1,04	1,26	0,92
H	1,08	0,96	1,19	0,88
I	1,10	1,02	1,20	0,91
K	1,21	1,00	1,23	0,98

Mittelwerte + Sigma Bereich:

$1{,}12 \pm 0{,}0564$	$1{,}02 \pm 0{,}0425$	$1{,}21 \pm 0{,}06276$	$0{,}91 \pm 0{,}05675$
$\pm 0{,}1128$	$\pm 0{,}0850$	$\pm 0{,}12552$	$\pm 0{,}11350$

Mittelwerte + 2-Sigma Bereich:

Der mittlere Quotient der maximalen Impulsraten/2' betrug:

re. Lunge/Leber = 11 (7-14)

re. Lunge/Abdomen = 12 (9-20)

Impulsintegralverhältnisse bei Injektion im Stehen und ventraler Projektion:

Versuchsperson	Alter	re. Lunge/li. Lunge	re. OF/li. OF
A Joachim	B. 26.12.45	1,54	1,27
B Helmut	B. 27.02.40	1,48	1,21
C Edith	K. 05.01.36	1,45	1,12
D Dimitrios	M. 26.02.35	1,49	1,17
E Hubert	Z. 11.06.35	1,25	1,22
F Anton	E. 12.01.34	1,36	1,25
G Rosalinde	H. 02.01.31	1,22	1,17
H Spirios	R. 04.03.30	1,42	1,13
I Richard	W. 15.02.27	1,41	1,21
K Adolf	K. 26.05.24	1,41	1,21
L Walter	B. 06.02.20	1,37	1,18
M Joseph	H. 16.02.20	1,27	1,19
N Mathäus	G. 04.05.10	1,41	1,08
O Alfred	H. 13.10.10	1,21	1,12
P Willy	K. 02.01.08	1,24	1,28
Q Josef	M. 02.01.06	1,26	1,09
R Albert	H. 09.03.05	1,35	1,24
S Franz	M. 23.01.04	1,46	1,17
T Jakob	B. 12.06.01	1,38	1,24
U Richard	E. 10.10.92	1,24	1,21
Mittelwert :		1,36	1,19
Sigma Bereich :		± 0,317	± 0,05728

Injiziert wurde in die linke Kubitalvene, bei gleichzeitiger maximaler Inspiration, nach 10 Minuten Stehen. Alle 20 Versuchspersonen erhielten eine Dosis von 100 uci Jod-131-Humanalbuminmakropartikel. Die Zeitkonstante der motorisierten Farbbandsteuerung betrug immer 0,2 sec. Eine Impulsrate von 8 % wurde jeweils unterdrückt. Die von jeder Versuchsperson angefertigten Röntgen-Thoraxaufnahmen waren unauffällig und enthielten keine Hinweispunkte für die Durchblutungsminderung einzelner Lungenteile.

2-Sigma Bereich des Mittelwertes = 1,36 ± 0,624 1,19 ± 0,11456

Impulsintegralverhältnisse bei Injektion im Stehen und und ventraler Projektion (Fortführung der Tabelle von Seite 32)

	re. UF/li. UF	re. OF + li. OF / re. UF + li. OF	Max. Imp./Min.	Dotfaktor
A	1,63	0,48	10 000/30k x 1	32
B	1,54	0,46	16 000/30k x 1	32
C	1,50	0,43	16 000/30k x 1	32
D	1,58	0,44	12 000/30k x 1	32
E	1,39	0,47	18 000/30k x 1	32
F	1,50	0,51	16 000/30k x 1	32
G	1,30	0,59	14 000/30k x 1	32
H	1,51	0,58	15 000/30k x 1	32
I	1,41	0,60	16 000/30k x 1	32
K	1,57	0,59	14 000/30k x 1	32
L	1,63	0,60	11 000/30k x 1	32
M	1,61	0,62	9 000/10k x 1	16
N	1,62	0,64	16 000/30k x 1	32
O	1,37	0,64	12 000/30k x 1	32
P	1,31	0,61	11 000/30k x 1	32
Q	1,30	0,58	16 000/30k x 1	32
R	1,62	0,68	13 000/30k x 1	32
S	1,49	0,69	14 000/30k x 1	32
T	1,41	0,66	16 000/30k x 1	32
U	1,46	0,69	12 000/30k x 1	32
Mittelwert :	1,47	0,58		
Sigma Bereich:	± 0,365	± 0,0844		

In den 20 geschriebenen Lungenperfusionsszintigrammen waren die beiden Lungenunterfelder stärker angefärbt als die Lungenoberfelder. Die Durchblutung der unteren Lungenhälften war, nach den Impulszahlen gerechnet, um rund 100 % größer als die der oberen Hälften. Außerdem läßt sich im Impulsintegralverhältnis der beiden Lungenoberfelder zu den Lungenunterfelder eine Abhängigkeit des ermittelten Quotienten vom Alter erkennen, auf diese Altersabhängigkeit wird bei der Besprechung der Ergebnisse eingegangen werden.

2-Sigma Bereich des Mittelwertes:

1,47 ± 0,730 0,58 ± 0,1688

Maximale Impulsratenverhältnisse/2' bei Injektion im Stehen und ventraler Projektion (Fortführung der Tabelle von Seite 32)

	re. Lunge/li. Lunge	re. OF/li. OF	re. UF/li. UF	re. OF+li. OF / re. UF+li. UF
A	1,56	1,19	1,55	0,58
B	1,41	1,22	1,38	0,48
C	1,51	1,44	1,60	0,60
D	1,43	1,30	1,28	0,64
E	1,45	1,18	1,38	0,51
F	1,18	1,07	1,26	0,49
G	1,16	1,06	1,26	0,40
H	1,34	1,22	1,44	0,59
I	1,36	1,18	1,38	0,60
K	1,32	1,25	1,42	0,58
L	1,39	1,09	1,69	0,67
M	1,32	1,19	1,42	0,58
N	1,29	1,02	1,42	0,69
O	1,12	1,13	1,10	0,55
P	1,11	1,21	1,05	0,65
Q	1,18	1,09	1,24	0,58
R	1,29	1,12	1,32	0,64
S	1,18	1,26	1,38	0,62
T	1,31	1,19	1,42	0,64
U	1,20	1,18	1,41	0,66
Mittelwerte + Sigma Bereich:	± 0,404	± 0,309	± 0,475	± 0,230
	1,30	1,20	1,37	0,59
	± 0,808	± 0,618	± 0,950	± 0,460
Mittelwerte + 2-Sigma Bereich:				

Der mittlere Quotient der maximalen Impulsraten/2' von rechter Lunge zur Leber und Abdomen betrug:
rechte Lunge/Leber = 14 (8-17) rechte Lunge/Abdomen = 15 (10-24)
Bei diesen 20 Versuchspersonen fand kein größerer Partikelverlust in Leber oder Abdomen statt. Das Verhältnis der Impulsraten der oberen zu den unteren Lungenfelder betrug, 59, das heißt, daß die Durchblutung in den unteren Lungenfeldern im Stehen um fast 100 % vermehrt ist als im Liegen.

Impulsintegralverhältnisse von 10 Versuchspersonen bei Injektion im Stehen und dorsaler Projektion:

Versuchsperson	Alter	re. Lunge/li. Lunge	re. OF/li. OF
A Walter W.	07.02.48	1,15	1,19
B Hans K.	09.06.41	1,19	1,17
C Marianne S.	24.03.39	1,14	1,04
D Anton E.	12.01.34	1,15	1,05
E Erich M.	27.06.22	1,10	0,97
F Josef H.	16.02.20	1,18	1,04
G Michael K.	12.01.11	1,17	1,12
H Lina L.	10.02.10	1,16	1,18
I Jakob B.	12.06.01	1,31	1,02
K Richard E.	10.10.92	1,21	0,95
Mittelwert :		1,18	1,08
Sigma Bereich:		± 0,05661	± 0,0872
2-Sigma Bereich:		± 0,11322	± 0,1744

	re. UF/li. UF	re. OF + li. OF / re. UF + li. UF	Max. Imp./Min.	Dotfaktor
A	1,18	0,49	11 000/30k x 1	32
B	1,21	0,45	16 000/30k x 1	32
C	1,19	0,47	14 000/30k x 1	32
D	1,26	0,59	16 000/30k x 1	32
E	1,23	0,58	9 000/30k x 1	16
F	1,34	0,60	11 000/30k x 1	32
G	1,14	0,62	16 000/30k x 1	32
H	1,28	0,68	15 000/30k x 1	32
I	1,34	0,69	10 000/30k x 1	32
K	1,18	0,68	13 000/30k x 1	32

Mittelwert + Sigma Bereich:

1,24 ± 0,06892; 0,59 ± 0,0895

Mittelwerte + 2-Sigma Bereich:

± 0,13784 ± 0,179

Die Lungenunterfelder waren im Verhältnis zu den Lungenoberfeldern in allen 10 Partikelszintigrammen stärker angefärbt. Nach den Impulssummen gerechnet betrug die Durchblutung der unteren Lungenfelder gegenüber den oberen Lungenfeldern rund 100 % mehr.

Maximale Impulsratenverhältnisse/2' bei Injektion im Stehen und dorsaler Projektion (Fortführung der Tabelle von Seite 35)

	re.Lunge/li.Lunge	re. OF/li. OF	re. UF/li. UF	re. OF+li. OF / re. UF+li. UF
A	1,19	1,06	1,19	0,46
B	1,36	1,18	1,29	0,41
C	1,21	1,12	1,12	0,48
D	1,18	1,01	1,26	0,57
E	0,98	0,98	1,04	0,59
F	1,10	0,99	1,21	0,52
G	1,12	1,08	1,25	0,64
H	1,23	1,02	1,18	0,66
I	1,25	0,99	1,23	0,68
K	1,04	0,96	1,12	0,67
Mittelwert + Sigma Bereich:	1,17 ± 0,0970	1,04 ± 0,06935	1,19 ± 0,07616	0,57 ± 0,09644
Mittelwerte + 2 Sigma Bereich:	± 0,1940	± 0,13870	± 0,15232	± 0,19288

Der mittlere Quotient der maximalen Impulsraten/2' betrug: re. Lunge/Leber = 11 (9-15)
re. Lunge/Abdomen = 13 (8-24)

Damit konnte ein größerer Partikelverlust in Leber oder Abdomen ausgeschloßen werden. Die unteren Lungenfelder waren im Verhältnis zu den oberen Lungenfeldern bei einem mittleren Impulsratenquotienten von 0,57 um rund 100 % mehr durchblutet.

An dieser Stelle muß noch einmal gesagt werden, daß vor jedem Lungenperfusionsszintigramm die Schilddrüse durch inaktives Jod geblockt wurde (30 Tropfen Lugol'sche Lösung, KJ, J_2). Da von manchen Versuchspersonen mehrere Szintigramme abgenommen wurden, und dadurch im Abstand von mehreren Tagen Jod-131-Humanalbumin intravenös appliziert wurde, mußte einer Eiweiß-überempfindlichkeitsreaktion durch eine Schockbekämpfungsvorsorge Rechnung getragen werden.

Zusammenfassung der Ergebnisse:

Das Verhältnis der Impulsintegrale bei Injektion im Liegen und im Stehen und ventraler Projektion ist in Tabelle 1 zu finden.

Tabelle 1 Verhältnis der Impulsintegrale

	Injektion im Liegen	Injektion im Stehen
$\frac{\text{rechte Lunge}}{\text{linke Lunge}}$	1,26	1,36
$\frac{\text{re.Lungenoberfeld}}{\text{li.Lungenoberfeld}}$	1,12	1,19
$\frac{\text{re.Lungenunterfeld}}{\text{li.Lungenunterfeld}}$	1,44	1,47
$\frac{\text{re. + li. Oberfeld}}{\text{re. + li. Unterfeld}}$	1,20	0,58

Zum Vergleich, das Verhältnis der Impulsintegrale bei Injektion im Liegen und im Stehen und dorsaler Projektion, Tabelle 2 :

$\frac{\text{rechte Lunge}}{\text{linke Lunge}}$	1,12	1,18
$\frac{\text{re.Lungenoberfeld}}{\text{li.Lungenoberfeld}}$	1,01	1,08
$\frac{\text{re.Lungenunterfeld}}{\text{li.Lungenunterfeld}}$	1,20	1,24
$\frac{\text{re. + li. Oberfeld}}{\text{re. + li. Unterfeld}}$	0,95	0,59

Beim Vergleich der Mittelwerte der Impulsintegralverhältnisse von ventraler und dorsaler Projektion fällt der grössere Impulsintegralquotient der rechten zur linken Lunge, und des rechten zum linken Unterfeld bei ventraler Projektion auf. Dies wird durch die verstärkte Strahlenabsorption des Herzens im Bereich der linken Lunge, besonders dem linken Lungenunterfeld bedingt. Somit verschiebt sich der Impulsintegralquotient der rechten zur linken Lunge (1,26 im Liegen, 1,36 im Stehen) bei ventraler Szintigraphie zu Gunsten der rechten Lunge. Da bei der dorsalen Projektion die Strahlenabsorption durch das Herz wegfällt, entspricht das Verhältnis

der Impulssummen der rechten zur linken Lunge (1,12 im Liegen, 1,18 im Stehen) fast genau dem bronchospirometrisch festgestelltem Arbeitsverhältnis der rechten zur linken Lunge von 1,18 (Trencker und Björkmann).

Bei der Injektion im Liegen waren die Lungenoberfelder und Unterfelder rechts und links gleich stark angefärbt, damit waren die Partikel regelmäßig in allen Lungenfeldern verteilt, dies entspricht einer gleichmäßigen Durchblutung in allen Lungenteilen im Liegen. Das Verhältnis der Impulsintegrale der beiden Lungenoberfelder zu den beiden Unterfeldern beträgt bei ventraler Projektion 1,20 und bei dorsaler Projektion 0,95. Bei Injektion im Stehen verschiebt sich dieses Verhältnis zu 0,58 bei ventraler Projektion und 0,59 bei dorsaler Projektion. Somit sind bei Injektion im Stehen die Partikel um das Doppelte in den beiden Lungenunterfeldern vermehrt fixiert, d.h., daß die Durchblutung im Stehen in beiden Lungenunterfeldern gegenüber den Oberfeldern fast 100 % größer ist. Im Szintigramm war bei allen Versuchspersonen bei Injektion im Stehen eine signifikante Farbanreicherung der Lungenunterfelder gegenüber den Oberfeldern zu sehen. Außerdem wurde eine Altersabhängigkeit des Impulsintegralquotienten der beiden Lungenoberfelder zu den Lungenunterfeldern gefunden, diese Altersabhängigkeit wird in einem besonderen Teil besprochen.

Ähnliche Verhältnisse ergeben sich für die Quotienten der maximalen Impulsraten über den Lungenfeldern.

Tabelle 3 Verhältnis der Impulsraten, ventrale Projektion:

	Injektion im Liegen	Injektion im Stehen
rechte Lunge / linke Lunge	1,13	1,12
re. Lungenoberfeld / li. Lungenoberfeld	1,09	1,20

Fortsetzung von Seite 38

re. Lungenunterfeld / li. Lungenunterfeld	1,23	1,37
re. + li. Oberfeld / re. + li. Unterfeld	1,00	0,59

Verhältnis der maximalen Impulsraten/2' bei dorsaler Projektion, Tabelle 4:

	Injektion im Liegen	Injektion im Stehen
rechte Lunge / linke Lunge	1,12	1,17
re. Lungenoberfeld / li. Lungenoberfeld	1,02	1,04
re. Lungenunterfeld / li. Lungenunterfeld	1,21	1,19
re. + li. Oberfeld / re. + li. Unterfeld	0,91	0,57

Altersabhängigkeit:

Bei Injektion im Stehen und ventraler Projektion fiel eine Altersabhängigkeit des Quotienten gebildet aus dem Verhältnis der Impulsintegrale des rechten und linken Oberfeldes : rechten und linken Unterfeld auf. Diese Altersabhängigkeit wurde in vier verschiedenen Altersgruppen untersucht und der jeweilige Quotient ermittelt. Dabei ließ sich eine Signifikanz von $p < 0{,}001$ der mittleren Qotienten mit steigendem Alter der Versuchsgruppen feststellen. Der Quotient stieg fast gleichmäßig mit Zunahme des mittleren Alters der Versuchsgruppen an.

Altersgruppe I, 15 - 35 Jahre

Versuchsperson	Alter	re. + li. Lungenoberfeld / re. + li. Lungenunterfeld
Joachim B.	26.12.45	0,48
Helmut B.	27.02.40	0,46
Edith K.	15.01.36	0,43
Dimitrios M.	26.02.35	0,44
Hubert Z.	11.06.35	0,47
Mittelwert + Sigma Bereich		0,46
Sigma Bereich		0,46 ± 0,0212
Mittelwert + 2~Sigma Bereich		0,46 ± 0,0424

Altersgruppe II, 35 - 45 Jahre

Versuchsperson	Alter	re. + li. Lungenoberfeld / re. + li. Lungenunterfeld
Anton E.	12.01.34	0,51
Rosalinde H.	02.01.31	0,59
Spirios R.	04.03.30	0,58
Richard W.	15.02.27	0,60
Adolf K.	26.05.24	0,59
Mittelwert + Sigma		0,57 ± 0,03675
2-Sigma		± 0,0735

Altersgruppe III, 45 - 60 Jahre

Versuchsperson	Alter	re. + li. Lungenoberfeld / re. + li. Lungenunterfeld
Walter B.	06.02.20	0,60
Joseph H.	16.02.20	0,62
Mathäus G.	04.05.10	0,64
Alfred H.	13.10.10	0,64
Willy K.	02.01.08	0,64
Mittelwert + Sigma		0,62 ± 0,02
2-Sigma		± 0,04

Altersgruppe IV, über 60 Jahre

Versuchsperson	Alter	re. + li. Lungenoberfeld / re. + li. Lungenunterfeld
Josef M.	02.01.06	0,58
Albert H.	09.03.05	0,68
Franz M.	23.01.04	0,69
Jakob B.	12.06.01	0,66
Richard E.	10.10.92	0,69
Mittelwert + Sigma		0,66 ± 0,04637
2-Sigma		± 0,09274

Wenn diese Werte in ein Koordinatensystem eingetragen werden, wobei die Alterszunahme die Abszisse und der Quotient die Ordinate bildet, erhält man eine der Zunahme des Quotienten entsprechende, linear ansteigende Gerade, Abbildung.

Nach der Student - Verteilung wurde die Signifikanz (P-Wert) der Altersgruppen untereinander ermittelt:

Altersgruppe I:II	$t_8 = 5{,}79$, $p < 0{,}001$	hoch signifikant
II:III	$t_8 = 2{,}68$, $p < 0{,}025$	signifikant
III:IV	$t_8 = 1{,}875$, $p < 0{,}05$	signifikant
I:IV	$t_8 = 10{,}40$, $p < 0{,}0005$	hoch signifikant

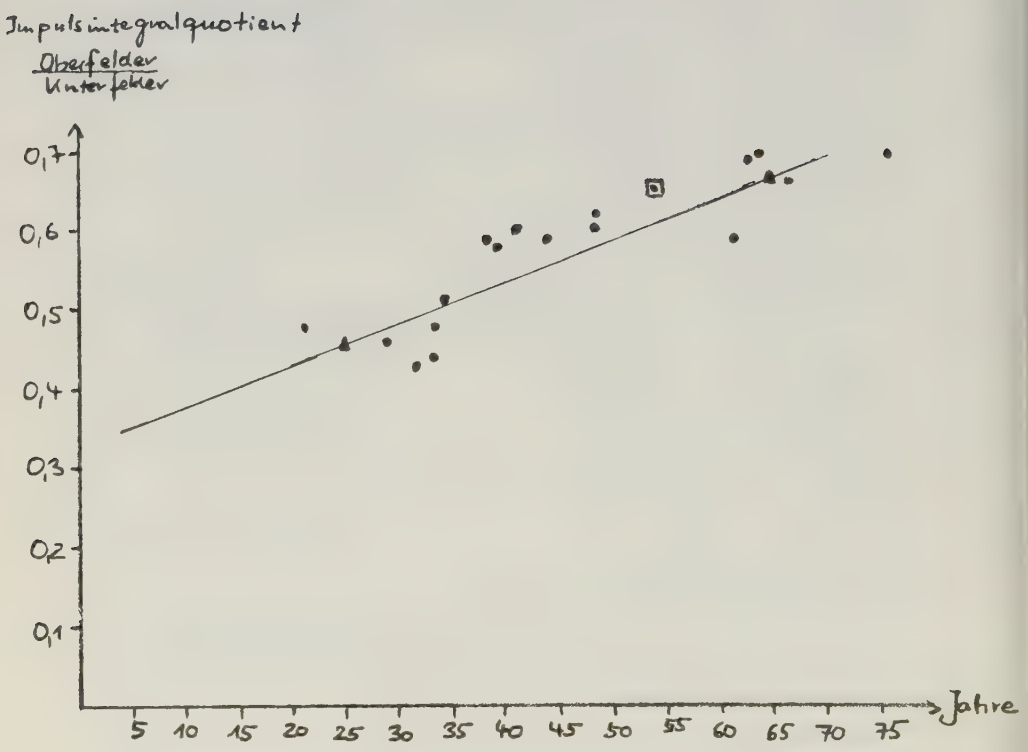


Abbildung 6: Impulsintegralverhältnisse des rechten + linken Lungenoberfeldes zum rechten und linken Lungenunterfeld in Abhängigkeit vom Alter. Der in der Abbildung eingerahmte Punkt, stellt einen Doppelpunkt dar.

Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse.

In den vorausgegangenen Kapiteln wurde die Abhängigkeit der Partikelfixation des normalen Lungenperfusionsszintigrammes, bei Injektion im Liegen und im Stehen und anschließender Szintigraphie im Liegen, bei ventraler oder dorsaler Projektion, untersucht. Um diese durch die verschiedenen Bedingungen veränderte Partikelfixation, die proportional dem Durchblutungsmuster in den einzelnen Lungenabschnitten ist, quantitativ zu erfassen, wurden mit einem speziell konstruierten Zählwerk (Feine) die Impulsintegrale der einzelnen Lungen in Ober- und Unterfeld getrennt, ermittelt. Das Verhältnis dieser Impulsintegrale zueinander wurde an 60 Lungenszintigrammen als Mittelwert errechnet.

Mit einem Flächenkollimator wurden nach Abnahme des Szintigrammes die maximalen Impulsraten/2' über den 4 Lungenquadranten bestimmt, und das Verhältnis zueinander aufgestellt. Um einen größeren Partikelverlust in die Leber oder das Abdomen mit Sicherheit auszuschließen wurden außerdem die maximalen Impulsraten/2' über diesen Organen gemessen und mit der Impulsrate der rechten Lunge in das Verhältnis gesetzt.

Der Altersabhängigkeit des Impulsintegralquotienten gebildet aus den Impulssummen des rechten und linken Lungenoberfeldes zum rechten und linken Unterfeld bei Injektion im Stehen und anschließender Szintigraphie im Liegen (Rückenlage) wurde in 4 verschiedenen Altersgruppen mit jeweils 5 Versuchspersonen untersucht. Das Verhältnis der Impulsintegrale betrug in:

Altersgruppe	I 15 - 35 Jahre	0,46
Altersgruppe	II 35 - 45 Jahre	0,57
Altersgruppe	III 45 - 60 Jahre	0,62
Altersgruppe	IV über 60 Jahre	0,66

Diese Zunahme des Quotienten mit steigendem Alter der Versuchsgruppen besagt, daß die Durchblutung der unteren Lungenfelder im Verhältnis zu den oberen Lungenfeldern im Alter vermehrt abnimmt. In der Literatur ließ sich keine befriedigende Erklärung für diese Altersabhängigkeit finden. Wahrscheinlich werden die unteren Lungenteile bei steigendem Alter gegenüber den oberen Lungenteilen stärker vom Emphysem betroffen.

Die Untersuchungen von West und Dollery über die Verteilung von Ventilation und Perfusion in den Lungen beim Stehen decken sich mit den durch die Lungenszintigramme ermittelten Durchblutungsverhältnissen bei Injektion im Stehen. Nach Injektion der Partikel im Stehen und anschließender Lungenperfusionsszintigraphie im Liegen ist die Partikelfixation und damit die Durchblutung der unteren Lungenhälften um fast 100 % gegenüber den oberen Lungenhälften vermehrt. Im Szintigramm sind die unteren Lungenfelder deutlich stärker angefärbt.

Braunwald und Friedmann machten 1967 Lungenperfusionsszintigramme von Patienten mit Mitralstenosen. Die oberen und mittleren Lungenteile waren im Verhältnis zu den unteren Lungenteilen stärker durchblutet. Sie stellten fest, daß die Durchblutungsverhältnisse der Lungen direkt proportional der Höhe des linken Vorhofdruckes sind. Der aus den Impulssummen der Ober- und Unterfelder gebildete Quotient betrug bei unseren Versuchspersonen bei Injektion im Stehen und nachheriger Szintigraphie im Liegen bei ventraler Projektion 0,58 und bei dorsaler Projektion 0,59. Bei Mitralvitien würde dieser Quotient auf 1 und höher ansteigen. Damit hat man eine Methode um bei Mitralvitien und anderen Erkrankungen den Druck im linken Vorhof und im kleinen Kreislauf auf einfache Weise abschätzen zu können.

Da diese Lungenperfusionsszintigramme von physiologisch gesunden Lungen geschrieben worden sind, entsprechen die Impulsintegralquotienten der einzelnen Lungenteile zueinander den Durchblutungsverhältnissen von physiologisch gesunden Lungen. Damit kann eine quantitative Aussage über Vermehrung oder Verminderung der Durchblutung in den einzelnen Lungenfeldern gemacht werden. Da eine Koppelung der Ventilation und Perfusion über den alveolo-vaskulären Reflex (Euler und Liljestrand 1946) in den Lungen besteht, ist auch eine Aussage über die Ventilationsverhältnisse der betreffenden Lungenabschnitte möglich. Natürlich kann mit dieser Methode nichts über die globale Funktion der Lungen ausgesagt werden.

Die Bedeutung des Lungenperfusionsszintigrammes wird in Zukunft noch steigen, wenn kurzlebige Radionuklide (Technetium-99 m HWZ 6 Stunden und Indium-113 HWZ 1,7 Stunden) zur Markierung von eiweißfreien Partikeln routinemässig angewandt werden. Da die Strahlenbelastung beim Lungenszintigramm sehr gering ist, können auch beim Kind Lungenperfusionsszintigramme durchgeführt werden, um evtl. einfache Schätzungen des Druckes im kleinen Kreislauf und des linken Vorhofs vorzunehmen oder zur Beurteilung der Durchblutung differentieller Lungenabschnitte und damit deren Beteiligung am Gasaustausch (Feine). Die gefundenen Mittelwerte der Impulsintegralverhältnisse und der Impulsratenverhältnisse über den einzelnen Lungenabschnitten sind noch einmal in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 5 Verhältnis der Impulsintegrale, ventrale Projektion:

	Injektion im Liegen MW+Sigma Bereich	Injektion im Stehen MW+Sigma Bereich
rechte Lunge / linke Lunge	1,26 ± 0,044	1,36 ± 0,317
re. Lungenoberfeld / li. Lungenoberfeld	1,12 ± 0,054	1,19 ± 0,057
re. Lungenunterfeld / li. Lungenunterfeld	1,44 ± 0,072	1,47 ± 0,365
re. + li. Oberfeld / re. + li. Unterfeld	1,20 ± 0,048	0,58 ± 0,0844

Verhältnis der Impulsintegrale, dorsale Projektion:

	Injektion im Liegen	Injektion im Stehen
rechte Lunge / linke Lunge	1,12 ± 0,062	1,18 ± 0,05661
re. Lungenoberfeld / li. Lungenoberfeld	1,01 ± 0,035	1,08 ± 0,0872
re. Lungenunterfeld / li. Lungenunterfeld	1,20 ± 0,056	1,24 ± 0,0689
re. + li. Oberfeld / re. + li. Unterfeld	0,95 ± 0,075	0,59 ± 0,089

Verhältnis der maximalen Impulsraten/2', in Rückenlage:

	Injektion im Liegen Sigma Bereich	Injektion im Stehen Sigma Bereich
rechte Lunge / linke Lunge	1,14 ± 0,077	1,30
re. Lungenoberfeld / li. Lungenoberfeld	1,09 ± 0,046	1,20 ± 0,309
re. Lungenunterfeld / li. Lungenunterfeld	1,23 ± 0,46	1,37 ± 0,475
re. + li. Oberfeld / re. + li. Unterfeld	1,06 ± 0,32	0,59 ± 0,230
In Bauchlage:		
rechte Lunge / linke Lunge	1,12 ± 0,0564	1,17 ± 0,0970
re. Lungenoberfeld / li. Lungenoberfeld	1,02 ± 0,0425	1,04 ± 0,06935
re. Lungenunterfeld / li. Lungenunterfeld	1,21 ± 0,06276	1,19 ± 0,07616
re. + li. Oberfeld / re. + li. Unterfeld	0,91 ± 0,05675	0,57 ± 0,09644

Literaturverzeichnis:

1. Altenbrunn H.J., Georgie P., Richter E., und Rotte K.H.
"Radioisotopbe in der Lokalisationsdiagnostik".
4. Jahrestagung d. Gesellschaft für Nuklear-medizin, Heidelberg 6.-8. Oktober 1966.
F.K. Schattauer-Verlag-Stgtt.

2. Atwood R.M.et al.
Lungs pulmonary scans achieved with macroaggregated radiodinated albumin.
Am.J.M.Sc. 252:84-88, July 1966

3. Bryan A.C., Bentivoglio L.G., Beerel F., Leish H., Zidulka A., and Bates D.V.
Factors affecting reginal distribution of ventilation and perfusion in The lung.
J.Appl.Physiol. 19, 1964, 395.

4. Comroe J.H., Forster R.E., Dubois A.B., Briscoe W.A., Carlsen E.
Die Lunge. Klinische Physiologie und Lungenfunktions-prüfungen.
F.K. Schattauerverlag-Stgtt.

5. Cotes J.E.
Lung function. Assessment and Application in Medicine.
Blackwell Scientific Publications, Oxford 1965

6. Denison D., Ernsting J. and Fryer D.F.
The effect of the inverted posture upon the distribution of pulmonary blood flow in man.
Journal Physiol. 172 (1964) S. 45

7. Doering P. und Lorenz B.
Dtsche Med. Wschrft 92J. 1. (1967) 239

8. Doerr F., Wolf R., Bock R., Storck U.
Nachweis von lokalen Durchblutungsveränderungen in der Lunge durch die Szintigraphie.

9. Doll E.
Die Atmung. Lehrbuch der speziellen pathologischen Physiologie.
Heilmeyer 11. Auflage 1968 S. 198
Gustav-Fischer-Verlag Stgtt.

10. v. Euler U.S., Liljestrand G.
The regulation of respiration during muscular work.
Acta physiol. scand. 12:268 (1946)

11. Ernst H., Iglauer E., Kronschwitz H., Spode E.
Strahlentherapie 107 (1958) 382.

12. Ernst H., Bräuer B., Meißner G.
Szintigraphische Untersuchungen bei Lungentumoren,
Fschrte. Röntgenstrahlen 102 (1965) 545

13. Feine U., Assmann H., Hilpert P.
Das Lungenszintigramm als Ergänzung des Lungenröntgenbildes.
Fschrte. Röntgenstrahlen 105 (1966) 458

14. Feine U., Hayduk K., Hoffmann K.
Lungenfunktion und Lungenszintigramm.
4. Jahrestagung der Ges. f. Nuklearmed. (Stuttgart 1967)

15. Feine U.
Morphologische Grundlagen der Radioisotopendiagnostik.
Lehrbuch der Röntgendiagnostik I 6. Auflage
(Schinz. Baensch, Frommhold, Glauner, Uehlinger)

16. Feine U.
Das Lungenszintigramm
D. Med. Wschrft. 93J. (1968) 1108-1110

17. Friedmann W.F., Braunwald E.
Lungs alterations in regional pulmonary blood flow in mitral valve disease studied by radioisotope scanning. Simple nontraumatic technic for estimation of left atrial pressure.
Radiology 88 (1967) 1056

18. Furth E.D., Okinaka A.J., Focht E.F., v. Becker D.
J.Nucl.Med. 6 (1965) 506

19. Glezier J.B., De Mordo G.L.
Pulmonary function studied with the xenon-133 scanning technic. Normal values and a postural study.
American Review of Respiratory Disease. 94 (1966) p.188

20. Hennig K., Woller P., Francke W.F.
Lungenszintigramm mit markierten Albuminmakroaggregaten.
Strahlentherapie 132 (1967)529

21. Motley und Mitarbeiter: zitiert n. Rossier P.H., Böhlmann A., Wiesinger K.
Physiologie und Pathologie der Atmung.
Springer-Verlag 1956 S. 50

22. Murphy E.S., et al.
The fate of macroaggregates of radioalbumin in The lung.
American Journal of clinical Pathology 48 (1967) No:1

23. Myers W.G. and Vanderleden J.C.
J.Nucl. Med. 1:149-164, 1964

24. Oeser H., Ernst H., Krüger J.
Das normale und das von der Norm abweichende Lungenszintigramm
Rö. Forum 106 (1967) S. 549

25. Oeser H., Ernst H.
Die Lungenszintigraphie als Mittel zur Früherkennung des Lungenkrebses.
D.Med.Wschrft. 91 (1966) S. 333

26. Oeser H., Ernst H., Rach K.
Farbszintigraphie
Fschrte. Röntgenstrahlen 101 (1964)

27. Quinn J.L. Joseph E., Whitley S., Hudspeth A.S., Prichard R.W.
Early clinical applications of lung scintiscanning.
Radiology 82 (1964) S. 640

28. Quinn J.L., Whitley J.E.
Lungscintiscanning
Radiology 83 (1964) S. 937

29. Rein-Schneider
Lehrbuch der Physiologie des Menschen
Springer-Verlag Auflage 15, 1964

30. Rink H.
Vergleichende Betrachtung szintigraphischer und röntgenologischer Befunde beim Bronchus-Ca.
Die Med.Welt 1 (1968) S. 30

31. Surprenant E.L.
Lateral lung scanning, anatomic and physiologic considerations.
American Journal of Radiology 99 (1967) S. 533

32. v. Taplin G., Dore E.K., Poe N.D., Greenberg A., de Lores, Johnson E.
Lung visualization and functional evaluation by two new radioisotope scanning methods.
Progress in radiology, Rome, September 1965, II, 1194

33. v. Taplin G.
For organ scanning scientific exhibition, tenth annual-meeting.
Society of nuclear medicine/Canada, June 26-29, 1963

34. v. Taplin G., and Poe N.D.
A dual lung scanning technic for evaluation of pulmonary function.
Radiology 85 (1965) S. 365

35. Vreden E.
Vergleichende spirographische, analytische, elektrokardiographische und röntgenologische Befunde bei Lungenkrankheiten und Emphysem.
Praxis der Pneumologie

36. Wagner H.N., Sabiston D.C., Langan J.K.
Diagnosis of massive pulmonary embolism in man by radioisotope scanning.
Medical radioisotope scanning. International Atomic Energy Agency Vienna 1964, S. 303 Vol. II

37. Weibel E.R.
Morphometry of the human lung
Springer-Verlag 1963

38. West J.B. and Dollery C.T.
Distribution of blood flow and ventilation-perfusion-ratio in the lung, measured with radioactive CO_2.
Journal Appl. Physiol. 15 (1960) S. 405

39. West J.B., Dollery C.T. and naimark A.
Distribution of blood flow in isolated lung, relation to vascular and alveolar pressures.
Journal Appl. Physiol. 19 (1964) S. 713

40. West J.B.
Distribution of blood and gas in Lungs.
Phys. Med. Biol. 11:357 (1966)

41. Wolf R.
Die Szintigraphie
Der Radiologe (1965) S. 345

42. Wolf R. und Fischer J.
Erfahrungen mit der Colorszintigraphie.
Fschrte. Röntgenstrahlen 101 (1964) S. 644

Lebenslauf

geb. am	8. 7. 1943 in Kolmar
Eltern:	Rudolf Braun, Oberstaatsanwalt
	Else Braun geb. Enz, Hausfrau
Schulen:	Leibniz-Gymnasium Rottweil
	Staatliches Gymnasium Hechingen
	1963 Reifeprüfung am Staatlichen Gymnasium Hechingen
Studium:	Vorklinisches Studium in Heidelberg
	Klinisches Studium in Würzburg,
	Heidelberg und Tübingen
Examina:	Vorphysikum im April 1964 in Heidelberg,
	Physikum im Februar 1966 in Heidelberg,
	Med. Staatsexamen im Juli 1969 in Tübingen.